

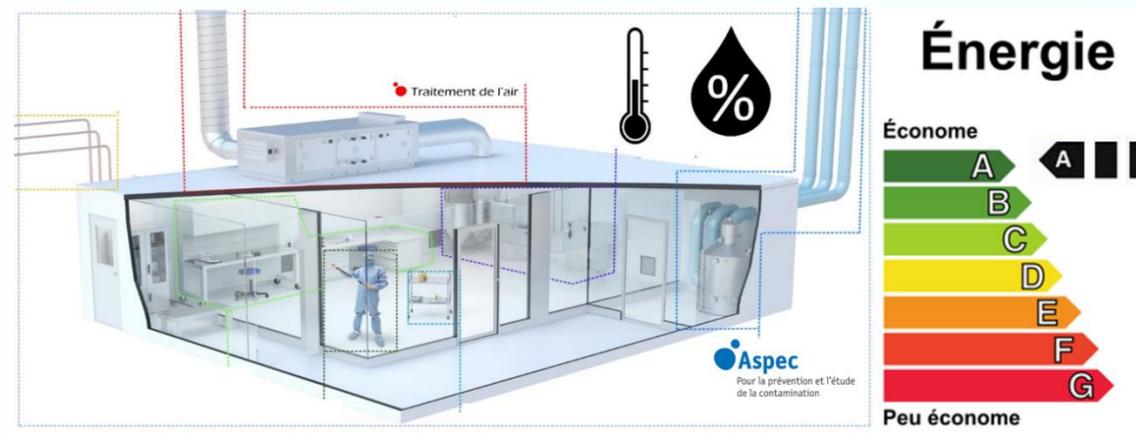
Performance énergétique en ambiances propres

Synthèse des éléments d'évolution pour le nouveau fascicule technique ASPEC

Conférenciers :

Jean-Paul Rignac, EDF R&D

& Sylvie Vandriessche, consultante, coordinatrice du fascicule pour ASPEC
(membres du Conseil Scientifique ASPEC)



Sommaire :

- 1- Synthèse réglementaire**, normative, articles revue SALLES PROPRES et recommandations
- 2- Mesures phares** en vue d'une optimisation énergétique
- 3- Méthodologie pour les simulations** OpTHum Pro (©EDF)
- 4- Résultats globaux**
- 5- Application à 2 cas « régionaux » :**
 - Industrie belge en Biotechnologies
 - Etablissement de Santé, CH Roubaix
- 6- Perspectives :** publication du fascicule, capteurs et traitement de données, IA...

Table des matières

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | INTRODUCTION | 4 |
| 2 | SYNTHESE REGLEMENTAIRE ET NORMATIVE | 4 |
| 2.1 | Une norme « Salles Propres » dédiée à l'efficacité énergétique : ISO 14644-16 | 4 |
| 2.2 | Autres textes | 6 |
| 3 | LISTE DES ABREVIATIONS UTILISEES | 6 |
| 4 | INDICATEURS CLES ET ORDRES DE GRANDEUR | 7 |
| 4.1 | Sources | 7 |
| 4.2 | Etat des lieux actuels | 7 |
| 4.3 | Actions de recensement des m ² | 8 |
| 5 | DEMARCHE D'OPTIMISATION ENERGETIQUE | 8 |
| 5.1 | Cas de l'industrie | 8 |
| 5.2 | Cas des établissements de santé | 9 |
| 6 | SPECIFICITES TECHNIQUES PAR SECTEUR (Pharma, Dispositifs Médicaux, Electronique « ESD »...) ET RETOURS D'EXPERIENCE | 10 |
| 6.1 | Elaboration d'une trame de fiche Excel | 10 |
| 6.2 | Pistes/Solutions | 10 |
| 6.3 | Cas envisagés | 10 |
| 6.4 | Retours | 12 |
| 6.4.1 | Cas pharma (via Ertec) | 12 |
| 6.4.2 | Cas Biotechnologies (via CoCeptio) | 16 |
| 6.4.3 | Optronique (cas anonyme) | 21 |
| 6.4.4 | Site R&D d'activités optroniques (SED Montluçon) | 25 |
| 6.4.5 | Laboratoire de recherche CNRS FEMTO (Dijon) | 33 |
| 6.4.6 | Laboratoire de recherche sur les Matériaux et Phénomènes Quantiques (CNRS, Paris 13è) | 37 |
| 6.4.7 | Laboratoire de recherche CNRS LAAS Toulouse | 41 |
| 6.4.8 | Cas d'une brioche industrielle | 45 |
| 6.4.9 | Cas CH Roubaix | 47 |
| 7 | LES PRATIQUES ACTUELLES DES ACTEURS DU MARCHE ET LES SOLUTIONS EPROUVEES QUI FONCTIONNENT - PERSPECTIVES | 52 |
| 7.1 | Variation de régime en établissement de santé | 52 |
| 7.2 | XXX | 52 |
| 7.3 | XXX | 52 |
| 8 | PERSPECTIVES A PARTIR D'UNE SOLUTION INNOVANTE : exemple du couplage HVAC/IA | 52 |
| 8.1 | Introduction | 52 |
| 8.2 | Contexte et objectifs | 53 |
| 8.3 | Méthodologie utilisée | 53 |
| 8.4 | Préanalyse des économies d'énergie potentielles | 54 |
| 8.5 | Optimisation et résultats | 54 |
| 8.6 | Optimisation et résultats | 55 |
| 8.7 | Conclusion | 55 |
| 9 | LEVIERS FINANCIERS POUR LES INDUSTRIES ET LES ETABLISSEMENTS DE SANTE | 56 |
| 9.1 | bpifrance : DIAG ECO-FLUX | 56 |
| 9.2 | bpifrance : DIAG PERF'IMMO | 57 |
| 10 | REFERENCES : TEXTES REGLEMENTAIRES, NORMES ET RECOMMANDATIONS | 58 |
| 10.1 | Textes réglementaires | 58 |
| 10.2 | Normes | 58 |
| 10.3 | Guides et recommandations | 58 |
| 10.4 | Revue SALLES PROPRES | 58 |
| 11 | ANNEXES | 59 |
| 11.1 | Document ministériel : Décarbonation en 10 points | 59 |

Equipe en charge du fascicule :

- Olivier ALLIERES, HVAC Conseils
- Vincent BARBIER, Pharmaplan
- Alix GOOSSENS, CoCeptio
- Denis LOPEZ, CA ASPEC, représentant Etablissements de santé
- Jean-Paul RIGNAC, EDF R&D
- Guy TAJOURI, ERTEC
- Richard VALLIN, Délégué Régional Sud Est ASPEC
- Sylvie VANDRIESSCHE, Consultante et coordinatrice du fascicule

Sommaire
provisoire

1- Synthèse réglementaire des textes depuis 2016 :

(liste non exhaustive)

Texte réglementaire :

MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET DE LA COHÉSION DES TERRITOIRES

Arrêté du 20 février 2024 modifiant l'arrêté du 10 avril 2020 relatif aux obligations d'actions de réduction des consommations d'énergie finale dans des bâtiments à usage tertiaire

Rappel : Le décret tertiaire impose
pour les bâtiments tertiaires de plus de 1 000 m² :
- soit d'abaisser la conso de -40% en 2030, -50% en 2040, -60% en 2050
- soit d'atteindre des valeurs absolues

→ Applicable aux **Etablissements de santé** (dont les **environnements maîtrisés**) : *Blocs opératoires (interventions programmées et blocs d'urgence), Pharmacie, Stérilisation, Laboratoires de bioconfinement*

Normes :

NF EN ISO 14644-16 : Salles propres et environnements maîtrisés apparentés - **Partie 16 : efficacité énergétique dans les salles propres et les dispositifs séparatifs**

Propose 3 indicateurs de Performance Energétique (PE) pour les salles propres (SP) :

- **Intensité de puissance pour l'élimination des contaminants (IPEC)** :

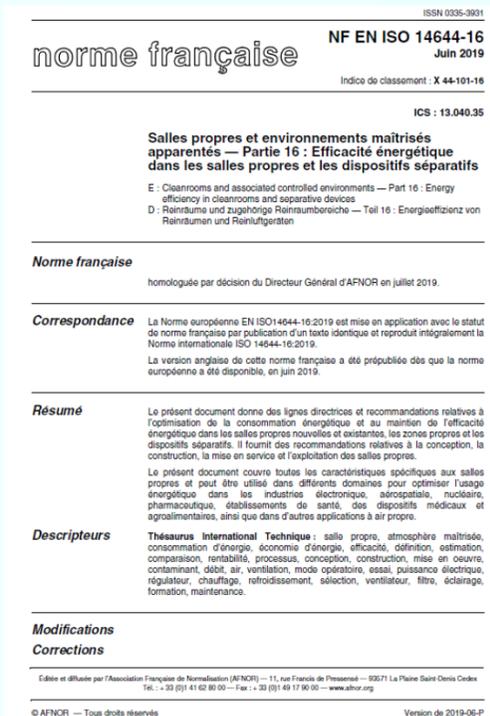
Puissance électrique absorbée par le (ou les) ventilateur(s) divisée par la surface au sol de la SP

- **Intensité énergétique pour l'élimination des contaminants (IEEC)** :

Energie annuelle électrique absorbée par le (ou les) ventilateur(s) divisée par la surface au sol de la SP

- **Intensité de puissance pour l'élimination des contaminants (IE)** :

Intensité énergétique de l'installation intégrant ventilation, chauffage, refroidissement, humidification et déshumidification/éclairage...



Source : AFNOR

IE = Intensité Energétique = Indicateur retenu pour le fascicule

→ Examen systématique en 2024 : norme confirmée (doc ISO/TC 209, N 508, sept 2024)

07.11.2024

Normes sur les audits énergétiques :

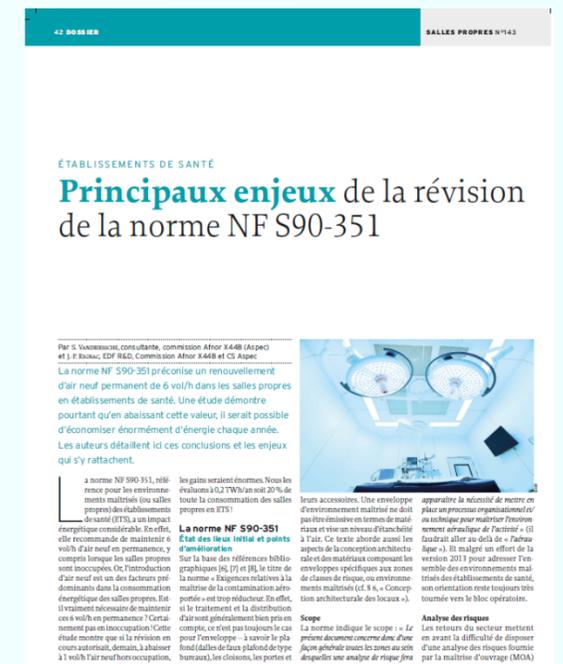
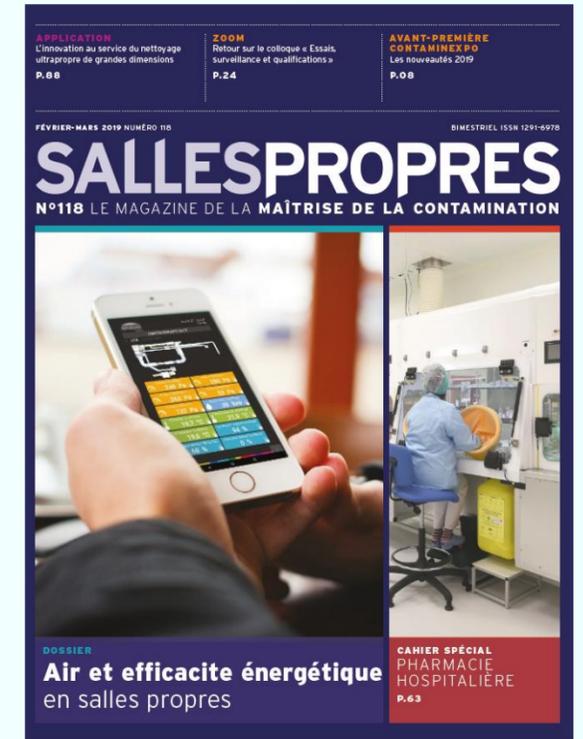
- NF EN 16247-1 : août 2022, Audits énergétiques - Partie 1 : Exigences générales
- NF EN 16247-2 : octobre 2022, Audits énergétiques - Partie 2 : Bâtiments
- NF EN ISO 50001 : août 2018, Systèmes de management de l'énergie - Exigences et recommandations de mise en œuvre

Pour en savoir plus, cf. Guide Performance énergétique en ambiances propres, ADEME-ASPEC-EDF R&D, 2016 (chapitre 2, paragraphes 2 et 3).



21 articles publiés dans la revue SALLES PROPRES : *sur la performance énergétique depuis déc 2016 sur 34 articles au total*

- Dossier n°107 (nov-déc 2016) : **Efficacité énergétique en salles propres**
- Dossier n°113 (fév-mars 2018) : **Quelles évolutions en traitement de l'air ?**
- Dossier n°118 (fév-mars 2019) : **Air et efficacité énergétique en salles propres**
- SALLES PROPRES n°123 : **Norme ISO 14644-16 - Pour améliorer l'efficacité énergétique en salles propres, JP Rignac et F Salanson**
- SALLES PROPRES n°126 (oct-nov 2020) : **Efficacité énergétique - Apport de la simulation dans la mise en œuvre de la norme ISO 14644-16, P Bombardier**
- Dossier n°130 (juin-juillet 2021) : **Conception et efficacité du traitement d'air**
- Dossier n°139 (mai-juin 2023) : **Comment gagner en efficacité énergétique ?**
- Dossier n°143 (février-mars 2024) : **Economies d'énergie, comment aller plus loin ?**



[Accessible en ligne aux adhérents ASPEC et abonnés, Magazine en ligne Salles Propres](#)

Recommandations :



RECOMMANDATIONS

Recommandations de pratiques professionnelles : optimisation de l'efficacité énergétique des zones à environnement maîtrisé des locaux de blocs opératoires et secteurs interventionnels[☆]

Professional Practice Guidelines: Optimization of energy efficiency in controlled environment zones in operating theaters and interventional sectors

El-Mahdi Hafiani^a, Stéphane Ortu^b, Denis Lopez^b, Florence Lallemand^{c,d}, Valérie Dumaine^e, Pierre Cassier^{f,g}, Karem Slim^h, Patrick Pessaux^{i,*}, avec le Collectif d'ÉcoResponsabilité En Santé (CERES) l'Association française de chirurgie (AFC), l'Association pour la prévention et l'étude de la contamination (ASPEC), la Société française d'hygiène hospitalière (SF2H), la Société française d'anesthésie et de réanimation (SFAR) et la Société française de chirurgie orthopédique et traumatologique (SOFOT),

^a DMU DREAM, département d'anesthésiologie et de médecine intensive, hôpital universitaire Tenon, Sorbonne université, Paris, France

^b Aspec, 64, rue Nationale, 75013 Paris, France

^c Département d'anesthésie et unité de soins Intensifs, CHU de Lille, 59000 Lille, France

^d Pôle des urgences, CHU de Lille, 59000 Lille, France

^e Service de chirurgie orthopédique, hôpital Cochin, université Paris-Cité, Assistance publique-Hôpitaux de Paris, Paris, France

^f Institut des agents Infectieux, hospices civils de Lyon, Lyon, France

^g Inserm, CNRS, UMR5308, U1111, ENS de Lyon, Centre International de recherche en Infectiologie (CRI), université de Lyon, université Claude-Bernard Lyon 1, Lyon, France

^h Service de chirurgie digestive, CHU de Clermont-Ferrand, Clermont-Ferrand, France

ⁱ Inserm U1110, service de chirurgie viscérale et digestive, Nouvel Hôpital Civil, 1, place de l'Hôpital, 67091 Strasbourg, France

DOI of original article: <https://doi.org/10.1016/j.jviscsurg.2024.08.001>.

[☆] Ne pas utiliser, pour citation, la référence française de cet article, mais celle de l'article original paru dans *Journal of Visceral Surgery*, en utilisant le DOI ci-dessus.

* Auteur correspondant.

E-mail address: patrick.pessaux@chru-strasbourg.fr (P. Pessaux).

<https://doi.org/10.1016/j.jchirv.2024.08.001>

1878-786X/© 2024 Les Auteurs. Publié par Elsevier Masson SAS. Cet article est publié en Open Access sous licence CC BY (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

2-Mesures phares en vue d'une optimisation énergétique :

(liste non exhaustive)

- Réduire les **surfaces et les débits d'air** au juste besoin & privilégier les mini-environnements pour les zones propres les plus critiques
- Elargir les **consignes** de température et d'hygrométrie relative (adaptées aux activités et au confort du personnel)

Hors occupation

- Baisser le **régime nominal** : en réduit ou veille
- Baisser le **taux d'air neuf**
- Baisser le **taux de brassage**

Sélectionner des **équipements performants** (moteurs...)

Limiter les **pertes de charge** (filtres, réseaux aérauliques...)

Attention à la « sur » et « sous » spécification...

Tableau 5 : Actions de performance énergétique les plus significatives à préconiser pour les salles propres

| Préconisation | Potentiel d'économie d'énergie | Coût | Facilité de mise en œuvre | Retour sur investissement |
|---|--------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Moduler les débits d'extraction en fonction du besoin réel (abaisser la guillotine sur les sorbonnes, arrêter les dépoussiéreurs). | *** | * | ** | Court terme |
| Elargir les zones neutres (plages de tolérance). | *** | * | ** | Court terme |
| Privilégier autant que possible "l'air recyclé" provenant du bâtiment pour diminuer la quantité d'air neuf à traiter. | *** | ** | * | Court terme |
| Adapter les valeurs de consigne de température et d'hygrométrie, au besoin du procédé (à régime réduit et en fonctionnement nominal). | *** | ** | * | Court terme |
| Baisser les taux de brassage hors occupation (réduction des débits d'air neuf) avec maintien des surpressions. | *** | ** | * | Court terme |
| Fermer les portes. | *** | * | ** | Court terme |
| Déporter la filtration terminale HEPA/ULPA au point de soufflage, permettant d'améliorer de 50 à 70 % la performance énergétique de cet étage de filtration. | *** | Surcoût en caissons et filtres | * | Moyen terme |
| Poser des variateurs de vitesse : afin de faire varier le débit d'eau et d'air pour s'adapter au mieux au besoin de l'activité (gain attendu de 30 à 50 %). | *** | ** | ** | Moyen terme |
| Privilégier un fonctionnement à air recyclé ou en mélange par rapport à un fonctionnement en tout air neuf si les contraintes le permettent. | *** | ** (variable si caisson de mélange) | * | Moyen terme |
| Baisser les pertes de charge des récupérateurs d'énergie côté air (côté eau également pour les systèmes à batteries à eau glycolée). | ** | * | * | Moyen terme |
| Privilégier les systèmes d'éclairage à basse consommation d'énergie. | ** | ** | ** | Moyen terme |
| Augmenter les interventions de maintenance pour contrôler les paramètres clés de l'installation afin de les corriger au plus vite (ex : étalonnage des sondes). | ** | ** | ** | Moyen terme |

Potentiel d'économie : **moyen ***fort Coût : *Coût faible **Coût modéré Facilité de mise en œuvre : *Moyennement facile **Facile
Source : Guide "Performance énergétique en ambiances propres", Ademe-Aspec-EDF, décembre 2016

Source : GUP 2020-22

3- Méthodologie pour les simulations OpTHum Pro (©EDF)

Une dizaine de cas traités avec des données très sommaires remontées dans une fiche EXCEL standard :

- **Localisation** → fichier Météo France (3 h), MétéoStat (h)
- **m², hauteur** → Intensités énergétiques (IE en kWh/m²/an et kWh/m³ horaire)
- **Brassage d'air** → comparaison aux ISO annoncés
- **Taux d'air neuf**
- **Consignes (T, HR)**
- **Rythme de fonctionnement** (permanent, 1x8...)

→ **très sensible
pour les conso**

Apports thermiques peu renseignés ⇒ **Beaucoup de données par défaut**
ex : **perte de charge** (1 000 Pa)

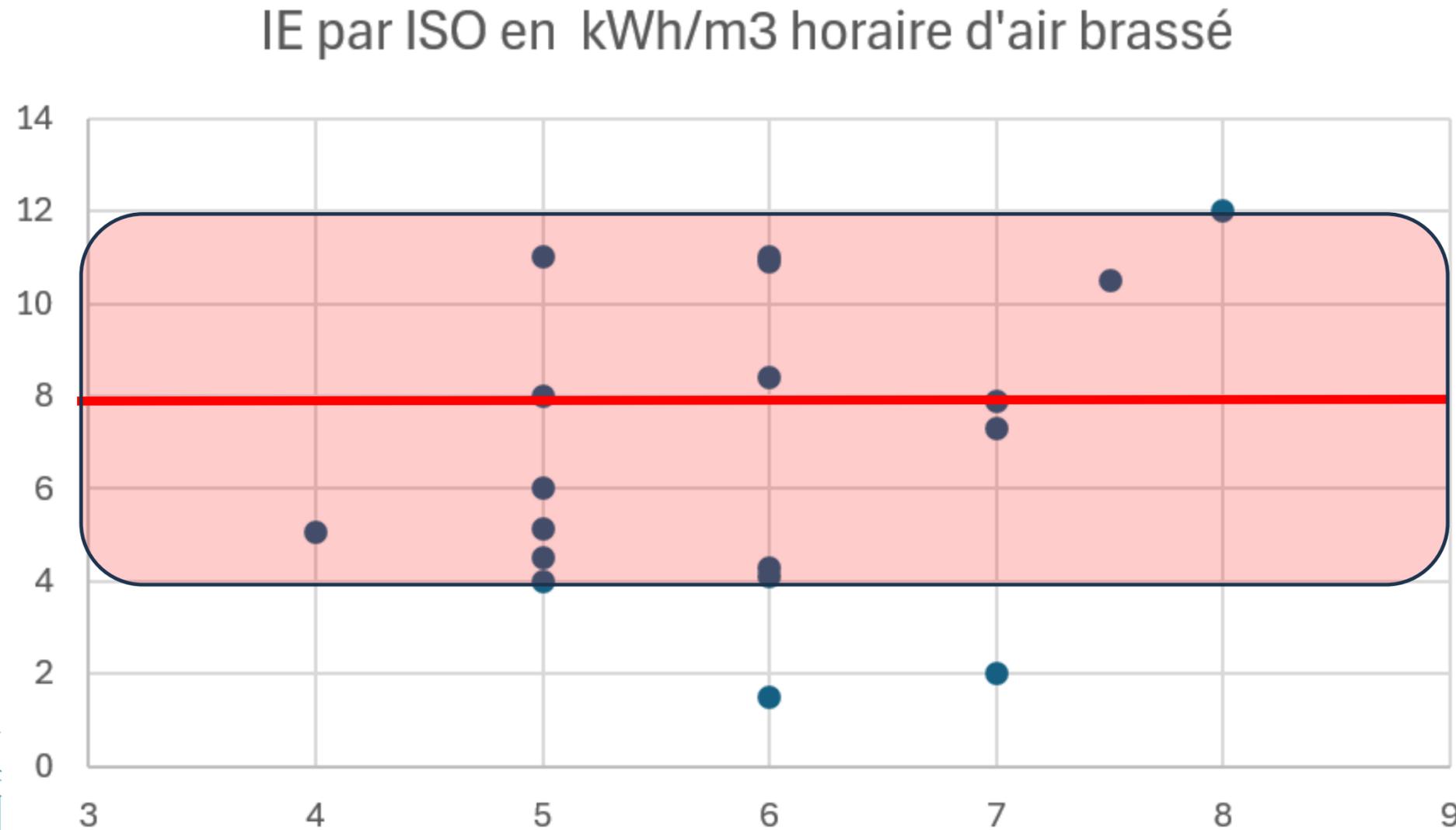
3- Méthodologie : 10 cas traités pour 20 IE modélisées

| | | | ISO | retenus en abscisse des schémas à suivre |
|---------------------------------|--------------------------------|---|--------------------------------|--|
| IAA : | une briocherie | → | Pas d'ISO associée | non |
| 3 Labos R&D : | Matériaux (CNRS) | → | ISO 6 et 7 | 6.5 |
| | Nano (LAAS) | → | 2 ISO 5 + 6 + 7 | |
| | Traitement Surfaces (Femto ST) | → | ISO 5 - ISO 6 - ISO 7 - 8 | 7.5 |
| 2 cas Optronique : | a | → | ISO 4 + ISO 5 + ISO 7 + ISO 8 | |
| | b | → | ISO 4 - 5 - 6 - 7 - 8 | 6 |
| Biotechnologie (3 sites) | | → | Classes BCD + CD + BDC | 6 + 7 + 6 |
| Pharmacie | | → | Classes A - C | 6 |
| Etablissement de santé | | → | 2 ISO 5 | |
| Automobile : | cabine de peinture | → | Pas ISO mais \cong ISO 5 à 6 | non |

10 cas traités

20 Intensités Energétiques modélisées

4- Résultats globaux : des IE dans la moyenne des SP en F



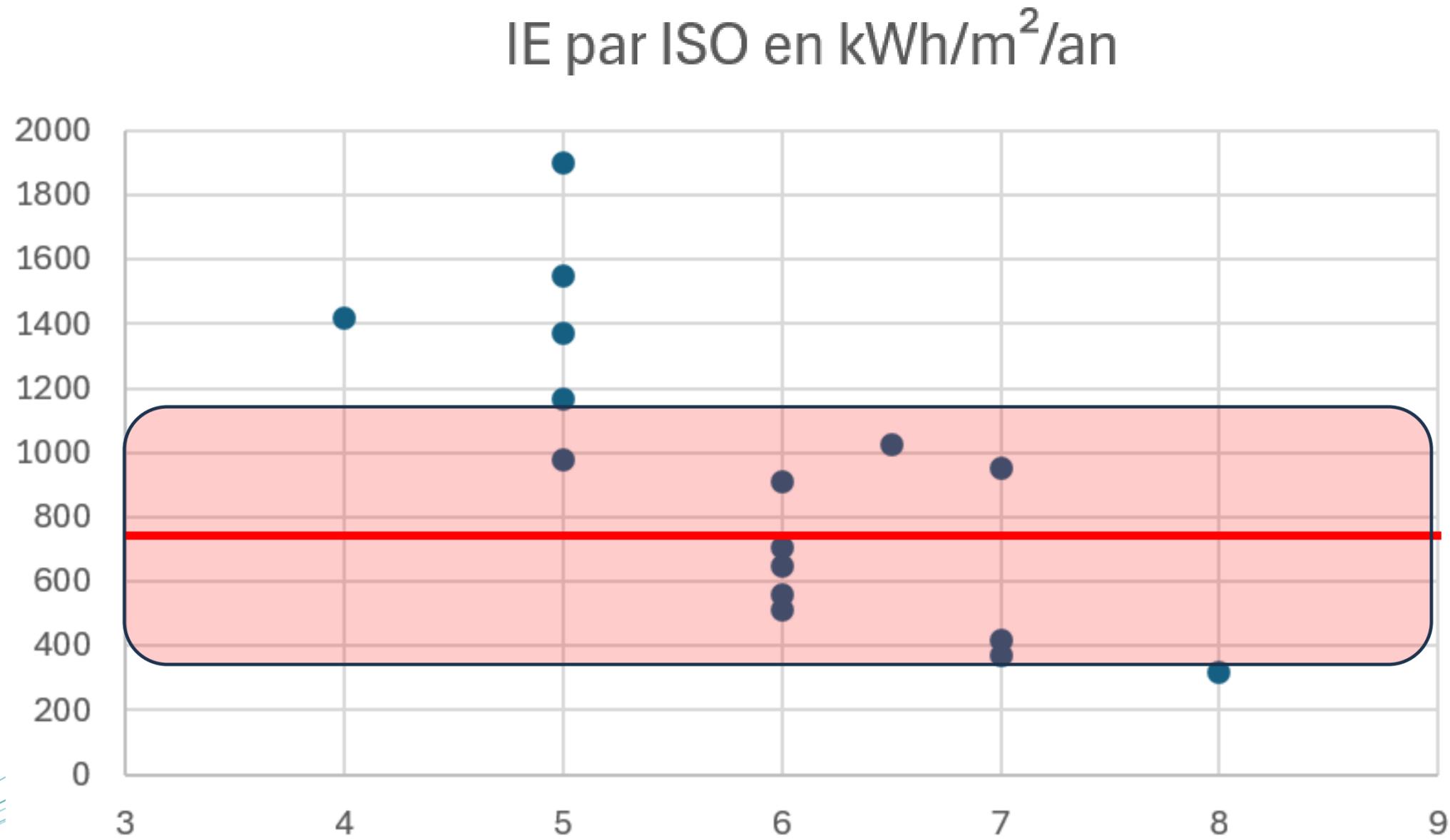
Moyenne des SP en France
8.0 kWh/m³/h d'air brassé ± 4

5 cas atypiques retirés

IAA (HR 80%), Auto cabine peinture (Tout Air Neuf), 3 labos R&D ST (forts taux brassage et AN, fenêtre étroite (T, HR))

⇒ Moyenne (hors cas atypiques) **6.9 kWh/m³/h d'air brassé**

4- Résultats globaux : des IE dans la moyenne des SP en F(suite)



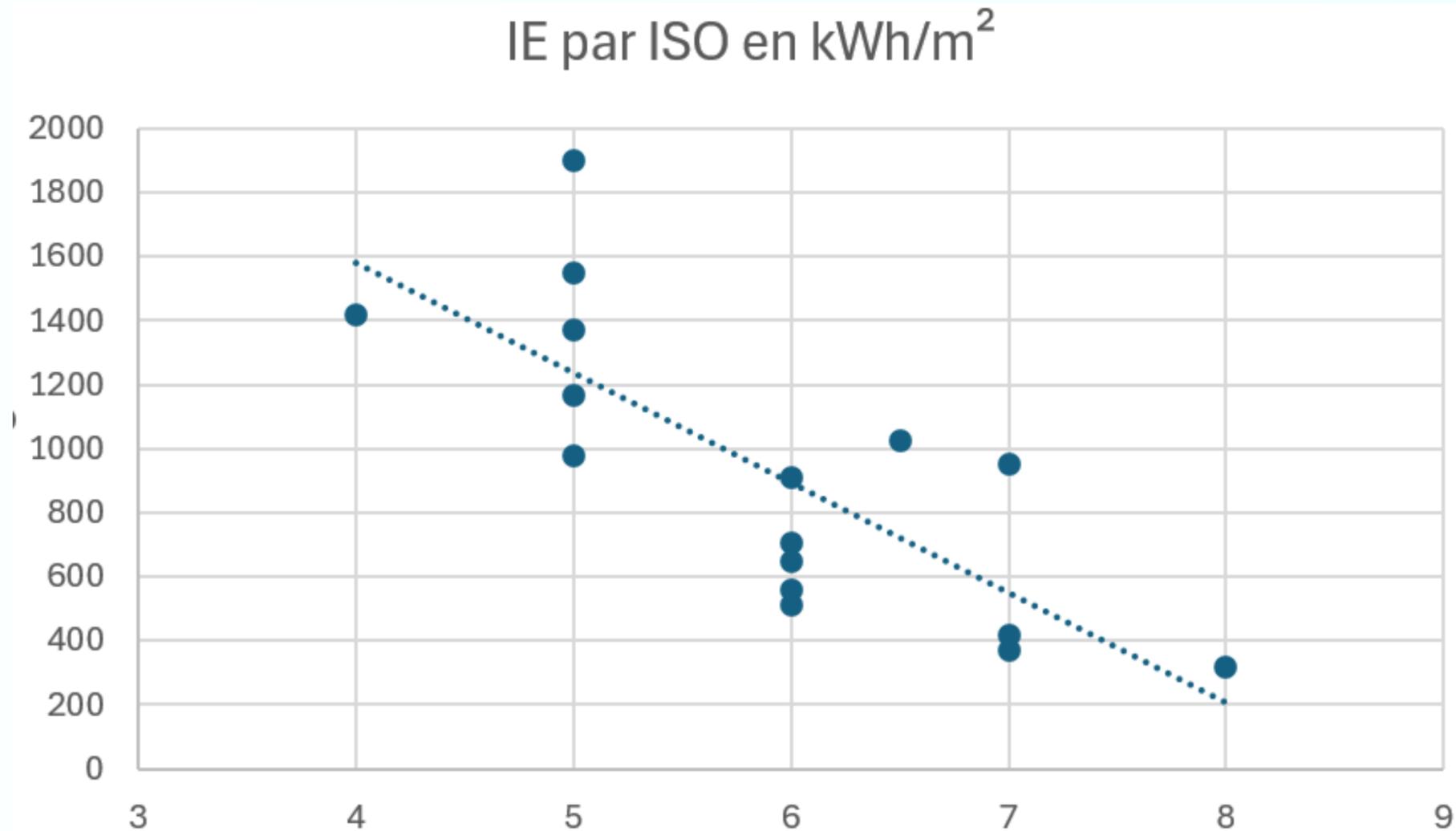
Moyenne des SP en France
780 kWh/m²/an ± 400

3 cas atypiques retirés ⇒ Moyenne 6.9 kWh/m³/an d'air brassé

IAA (HR 80%), Auto cabine peinture (Tout Air Neuf), 1 labo R&D ST (forts taux brassage, AN, fenêtre (T, HR) étroite)

⇒ Moyenne (hors cas atypiques) **925 kWh/m²/an**

4- Résultats globaux : une formule pour les IE en kWh/m² ?



$$IE \text{ (kWh/m}^2\text{)} = -343 * ISO + 2951$$

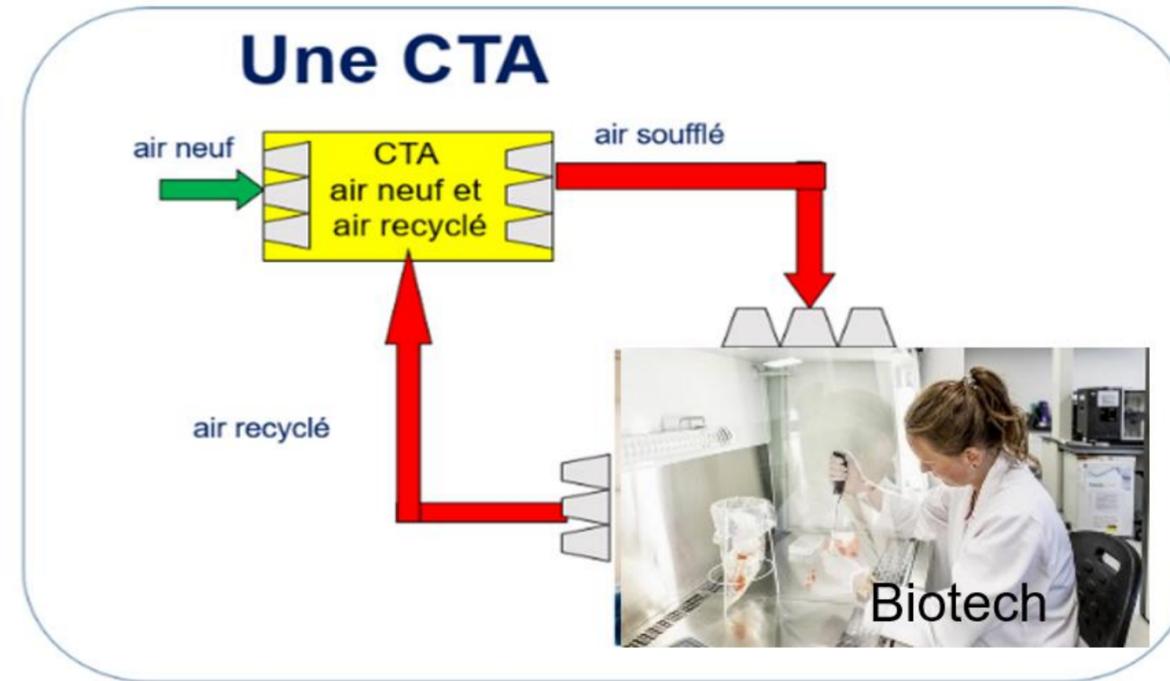
5- Application à 2 cas « régionaux » :

5a-Biotechnologies (cas anonyme pharma en Belgique)



5b-CH Roubaix

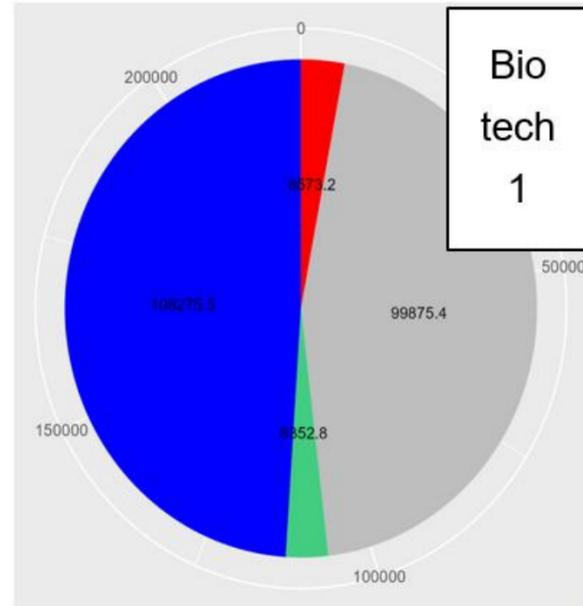




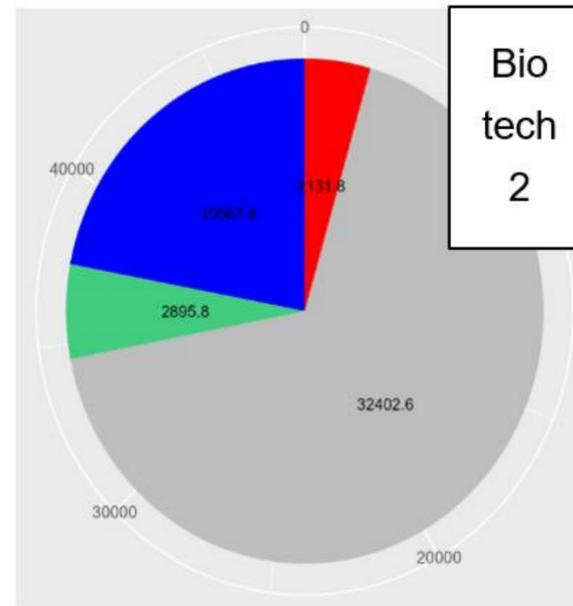
Occupation 10 h/j dans la journée pour Biotech 1 et 2 et 16 h/j pour Biotech 3. Réduit soir et week-end

| | Occupation | | | | Inoccupation | | | |
|-----------|---------------------------------|---------------------------------|-----------|-----------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|-------------------|
| | Air neuf (m ³ /h) | Brassage (m ³ /h) | T (°C) | HR (%) | Air neuf (m ³ /h) | Brassage (m ³ /h) | T (°C) | HR (%) |
| Biotech 1 | 3 055 (15%) | 20 363 | 21 ± 1°C | 50 ± 15% | 1 527 (7.5%) | Idem <u>occup</u> | Idem <u>occup</u> | Idem <u>occup</u> |
| Biotech 2 | 981 (15%) | 6 542 | 21 ± 3°C | 50 ± 15% | 523 (8%) | Idem <u>occup</u> | Idem <u>occup</u> | Idem <u>occup</u> |
| Biotech 3 | 16 475 (10%) | 164 745 | 20 ± 2°C | 50 ± 10% | Idem <u>occup</u> | Idem <u>occup</u> | Idem <u>occup</u> | Idem <u>occup</u> |

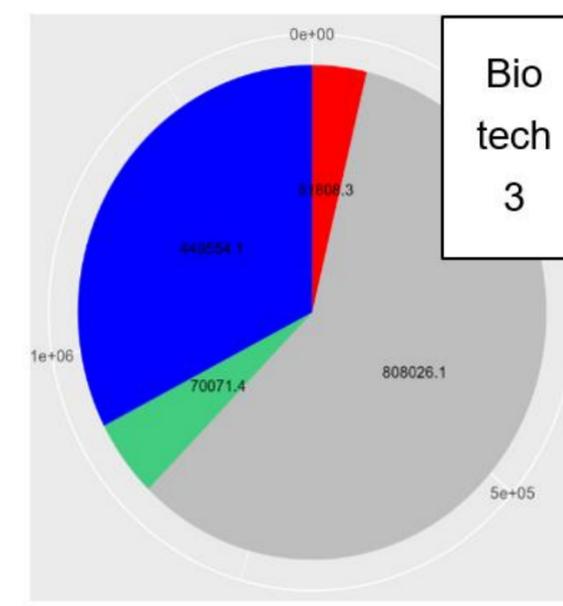
5a- Résultats Biotech



(38 kW et 29 kW inoccup)



Apports (4 kW et 2 kW inoccup)



Apports (239 et 12 kW inoccup)

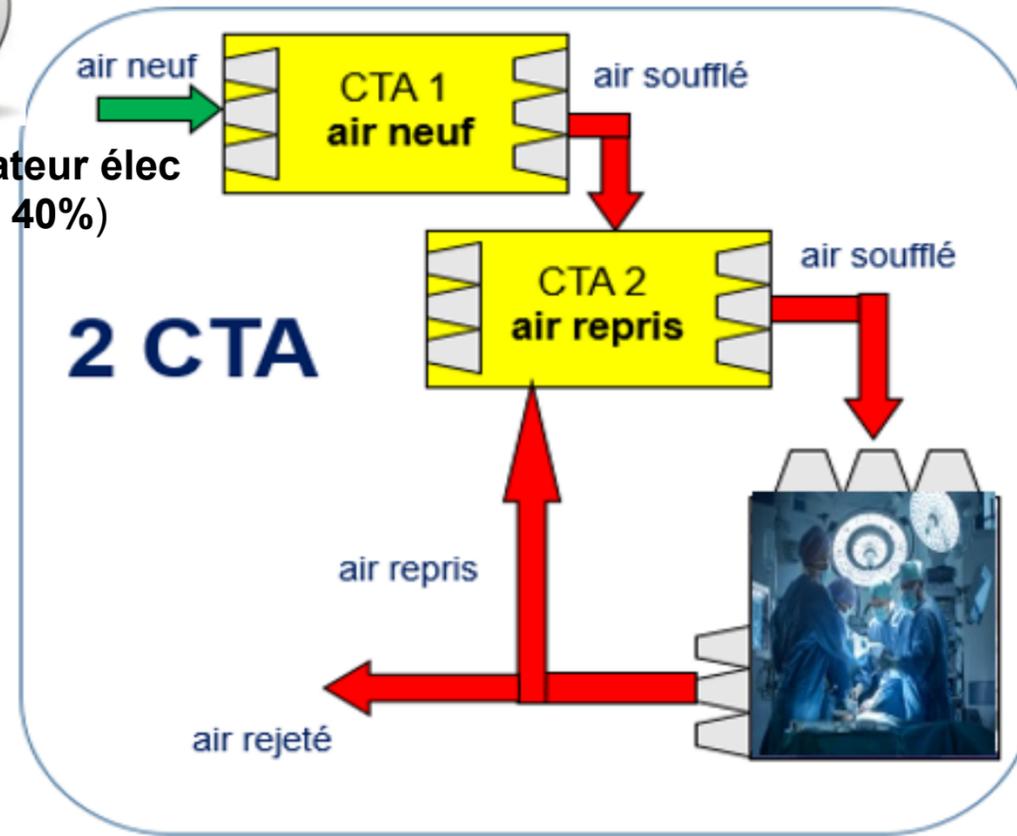


|  Intensité énergétique | | | | |
|---|-------------|------------|------------|------------|
| Ratios gaz/élec | Biotech 1 | Biotech 2 | Biotech 3 | Global |
| kWh par m²/an | 704 | 372 | 649 | 642 |
| kWh par m³/h d'air brassé | 10.9 | 7.3 | 8.4 | 8.6 |

5b- Hypothèses CH Roubaix



Humidificateur élec
(14°C , 40%)

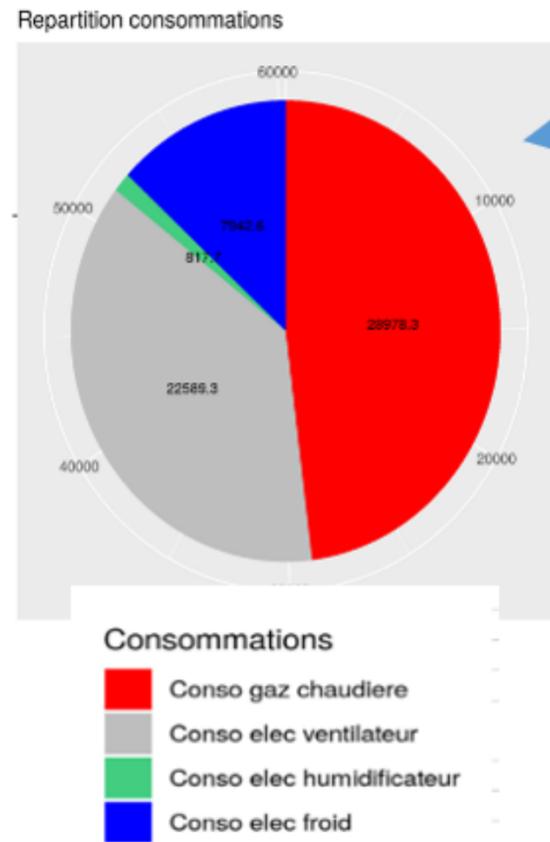


3 salles d'opérations avec interventions programmées

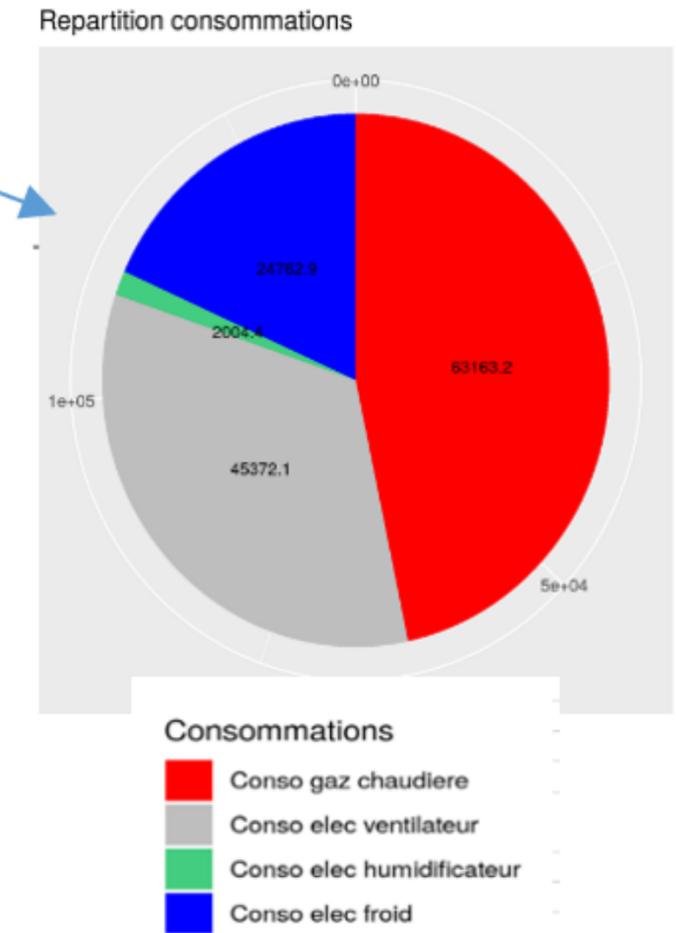
| 4 salles d'opérations | Mode | CTA 1 Air neuf | | | | CTA 2 Brassage | | |
|---|------------------|------------------|-----------------|--------|--------|------------------|-----------------|--------|
| | | Air neuf (Vol/h) | Air neuf (m3/h) | T (°C) | HR (%) | Brassage (Vol/h) | Brassage (m3/h) | T (°C) |
| 3 SP ISO 5 intermittentes 116 m ² | <u>occup</u> | 10.7 | 3 727 | 14°C | 40% | 65 | 22 640 | 19°C |
| | <u>inoccup</u> | 7.5 | 2 612 | | | 31.5 | 10 971 | 14°C |
| 1 SP ISO 5 24h/24 7j/7 39 m ² | <u>permanent</u> | 10.7 | 1 242 | | | 65 | 7 547 | 19°C |

1 « bloc d'urgence »

5b- Résultats CH Roubaix



| Ratios gaz/élec | ISO 5 permanent | ISO 5 intermittent |
|---|-----------------|--------------------|
| Intensité énergétique | | |
| <i>kWh par m²/an</i> | 1 547 | 1 166 |
| <i>kWh par m³/h d'air brassé</i> | 8.0 | 6.0 |



Le réduct de nuit et de week-end (14°C) appliqué à 3 des 4 salles d'opérations conduit à une économie de 25%

6-Perspectives :

- Mise à jour de l'étude **CEREN** de janvier 2019 ?
- Mise à jour de l'article **GUP** (Guide de l'Ultrapropreté 2020-2022)
- Version révisée de la norme **NF S 90351:2013** (attendue fin 2025)

- Session Efficacité énergétique à **ContaminExpert 2025**



- Usage de nouveaux outils : **IA** ? → affiner le fonctionnement des CTA et maintenance
- Asservissement des débits de **ventilation** à des capteurs de mesure low-cost **QAI**...

Quel bilan ?

- **La performance énergétique** en ambiances propres **progresses** !
- **Sensibilité accrue** des sites du fait de l'explosion des prix des énergies
- **Des outils de simulation se développent** et sont couramment utilisés (calculs, simulation numérique type CFD pour l'étude des flux d'air...)

⇒ Les cas traités dans le fascicule 2025 seront plus affinés que dans le guide 2016, malgré des données encore incomplètes et quelques cas atypiques liés à des activités particulières, au climat...

Publication du fascicule à :



ContaminExpo-ContaminExpert du 25 au 27 mars 2025